

## Le Soleil Vert : l'énergie des étoiles

Université libre de Bruxelles – Faculté des Sciences – Département de Chimie

Iacobellis Nicolas – Tiani Reda – Raghamy Amir

### Exploiter la source : la fusion nucléaire

L'énergie fournie chaque seconde par le Soleil suffirait à alimenter notre civilisation actuelle pendant près d'un million d'années ! Il n'est donc pas étonnant que des chercheurs du monde entier cherchent à reproduire sur Terre l'énergie du Soleil. Le mécanisme à l'origine de cette production d'énergie est la fusion nucléaire, une réaction très simple qu'il ne faut toutefois pas confondre avec la fission. Celle-ci, actuellement utilisée dans nos centrales nucléaires, cherche à scinder des noyaux d'uranium pour libérer, en plus des noyaux plus légers, des particules appelées neutrons. La fusion, elle, vise tout le contraire : forcer deux noyaux atomiques plus légers à s'assembler en un seul noyau, plus gros. La formation de cet amalgame dégagera elle aussi des neutrons, mais beaucoup plus énergétiques.

Pour comprendre ce qu'est la fusion, nous devons remonter aux origines, à la naissance des étoiles. Les atomes d'hydrogène issus du Big Bang se retrouvent piégés par la force de gravité et forment d'immenses nuages interstellaires. Ces nuages s'effondrent alors sur eux-mêmes et leur pression interne augmente, ce qui engendre une importante augmentation de la température (plusieurs millions de degrés !). Dans ces conditions extrêmes, les noyaux d'hydrogène peuvent se rassembler et fusionner pour former des noyaux d'hélium, cette réaction dégage de grandes quantités de chaleur, permettant d'initier d'autres réactions de fusion pour former d'autres noyaux, plus lourds. C'est de ce type de réaction que le Soleil tire son énergie depuis 4,5 milliards d'années.

Reproduire l'énergie du Soleil sur Terre représente toutefois un défi de taille car la fusion n'est possible qu'à condition de vaincre les importantes énergies électrostatiques qui repoussent mutuellement les noyaux, ceci ne peut se faire qu'en amenant la matière dans un état extrême appelé plasma (un gaz chaud constitué de particules électriquement chargées). Plusieurs méthodes existent pour parvenir à la fusion, nous nous intéresserons toutefois ici à la solution la plus souvent retenue qui consiste à soumettre le plasma à un champ magnétique intense en forme de tore (anneau). Cette technique est appelée confinement magnétique du plasma et les réacteurs qui l'utilisent portent le nom de tokamak.

La réaction la plus favorable dans le tokamak serait la fusion d'un noyau de deutérium et d'un noyau de tritium qui sont des équivalents plus lourds de l'hydrogène (ils ont plus de neutrons). Cette réaction génère un noyau d'hélium et un neutron. Les noyaux d'hélium, électriquement chargés, seront soumis au champ magnétique et resteront confinés dans le plasma. Les neutrons étant électriquement neutres, ils quitteront la région confinée du tokamak et leur énergie cinétique sera convertie en chaleur puis transformée en électricité.

La fusion présente trois avantages majeurs. Tout d'abord, des réserves inépuisables de combustible : le deutérium est présent dans l'eau de mer et le tritium est facile à produire. Deuxièmement, une sécurité inhérente au phénomène : le réacteur est très simple à mettre hors service, l'injection de produits parasites (comme de l'air) stoppe net la réaction, et les faibles quantités impliquées limiteront les dégâts d'un incident (aussi improbable soit-il) à la seule zone du réacteur. Enfin, la fusion est un procédé relativement propre : le tritium est un élément radioactif à courte durée de vie (une douzaine d'années suffit pour éliminer la moitié du stock) et la réaction ne génère pas de produits radioactifs à longue

durée de vie (l'interaction entre les neutrons et les parois du réacteur génèrera toutefois des déchets de courte durée de vie).

Forte de ces avantages, la fusion n'est toutefois pas encore exploitée à l'heure actuelle et ce pour de multiples raisons. Les scientifiques n'ont pas encore démontré expérimentalement la faisabilité technique de l'exploitation industrielle (même si des réactions de fusion ont bien été produites dans des tokamaks, le rendement de ces réactions ne permet pas encore leur exploitation). De plus, la construction d'un tokamak est extrêmement onéreuse (le tokamak ITER, actuellement en construction en France, dispose d'un budget de plusieurs milliards d'euros !) et représente une tâche complexe. Les progrès techniques et scientifiques actuels et la raréfaction des énergies fossiles laissent toutefois présager un regain d'intérêt pour la fusion nucléaire.

## Comprendre le rayonnement : le corps noir

Nous avons vu précédemment comment les chercheurs envisagent de reproduire les conditions qui existent au cœur du Soleil en vue d'une exploitation industrielle. La fusion qui s'y déroule permet au Soleil de briller et de préserver ainsi la vie sur Terre. La suite de l'exposition s'attachera à analyser le rayonnement électromagnétique émis par le Soleil et la manière dont notre planète se comporte vis-à-vis de ce rayonnement. Nous disposerons alors de tous les éléments pour expliquer l'origine d'un phénomène physico-chimique très médiatisé : l'effet de serre.

Nous pouvons définir le rayonnement comme une forme de transfert d'énergie. L'énergie du Soleil nous est donc transmise à travers l'espace grâce aux rayonnements qu'il émet et qui frappent constamment la surface de notre planète. Ce rayonnement est centré dans la couleur visible mais contient aussi une fraction « invisible » plus énergétique (l'ultraviolet) et moins énergétique (l'infrarouge). Notre planète ne perçoit cependant qu'une toute petite fraction de cette énergie, qui la chauffe à une température de surface dès lors beaucoup plus faible que celle du Soleil. Elle émet à son tour une radiation « invisible » de plus faible énergie : les rayonnements infrarouges. Ces derniers s'acheminent vers l'espace mais trouvent sur leur passage l'atmosphère terrestre qui contient des gaz susceptibles de les absorber. Ces gaz vont littéralement piéger les rayonnements, qu'ils réémettront en partie vers la surface de la Terre, permettant dès lors à notre atmosphère de s'échauffer. C'est ce qu'on appelle l'effet de serre.

On peut montrer que le rayonnement émis à la surface de la Terre irradiée par le Soleil se trouve dans l'infrarouge en approximant la Terre comme un corps noir. Rassurez-vous, ce dernier terme n'a rien de mystérieux : on définit un corps noir comme un corps idéalisé dont le coefficient d'absorption est égal à 1, c'est-à-dire qu'il absorbe tous les rayonnements qui l'atteignent. De plus, on observe que l'émission de rayonnements électromagnétiques d'un tel corps ne dépend que de sa température. Si l'on connaît alors la température de surface du corps, on peut déterminer les caractéristiques du rayonnement associé. C'est ainsi que la surface de la Terre à la température moyenne de 20°C se comporte comme un corps noir à la même température et émet principalement dans l'infrarouge. De même, le soleil est un (quasi) corps noir à la température de surface de 5530 °C et émet principalement dans le visible.

Considérer la surface terrestre comme parfaitement absorbante nous permet entre autres de calculer la température à laquelle se trouverait la Terre sans inclure l'effet de serre. On obtient le résultat assez stupéfiant de -22°C. A cette température, la majorité de la surface terrestre serait recouverte de glace ! L'effet de serre est donc essentiel à la vie sur Terre. Néanmoins, l'activité humaine tend à augmenter la concentration de ces gaz, ce qui accentue l'effet de serre et réchauffe davantage la Terre.

Un des gaz à effet de serre le plus connu est le dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  mais il existe d'autres gaz plus actifs dans l'infrarouge comme le méthane ou encore la vapeur d'eau (le plus important des gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère !). Une expérience permettra de montrer l'importance d'un gaz à effet de serre comme le  $\text{CO}_2$  dans le changement climatique.

## Exploiter le rayonnement : le photovoltaïque

Maintenant que nous en savons plus sur le rayonnement du corps noir, nous allons voir comment nous pouvons l'utiliser à notre avantage. Les cellules photovoltaïques par exemple tirent leur énergie du rayonnement solaire, ce qui leur permet de pouvoir être utilisées partout sur le globe (l'énergie annuelle globale ne différant que d'un facteur deux des régions polaires aux régions équatoriales).

Les cellules photovoltaïques sont des composants électroniques qui peuvent convertir le rayonnement électromagnétique du Soleil en une force électromotrice capable de générer un courant électrique. Aussi longtemps que la cellule est éclairée par la lumière, on observera un courant. Si elle n'est plus éclairée, le courant s'arrête.

Au contact de la lumière, les électrons, des particules électriquement chargées présentes dans les atomes, sont « excités » (ils ont reçu de l'énergie) et passent dans une autre zone énergétique, appelée « bande de conduction ». De là, ces électrons sont ensuite redirigés vers un circuit extérieur où ils généreront un courant, pour ensuite regagner la cellule, en ayant au passage évacué le surplus d'énergie accumulé.

## Bibliographie : pour en savoir plus

- NOUYRIGAT, Vincent et GROUSSON, Matthieu, « Fusion : l'eau pourra-t-elle remplacer le pétrole ? », *Science & Vie*, n°1122, mars 2011, pp. 50-67.
- CARATI, Daniele, « La fusion nucléaire contrôlée : une source d'énergie propre et inépuisable ? », site de la Faculté des Sciences de l'Université Libre de Bruxelles, [http://www.ulb.ac.be/sciences/intra/inforsc\\_archives/nrj/carati.htm](http://www.ulb.ac.be/sciences/intra/inforsc_archives/nrj/carati.htm) (page consultée le 8 février 2012).
- BRENGUIER, Jean-Louis, « Le soleil, moteur de l'atmosphère ? », site éducation de Météo France, juillet 2006, [http://education.meteofrance.com/machineclimatique/soleilmoteur?educelm=machine\\_0](http://education.meteofrance.com/machineclimatique/soleilmoteur?educelm=machine_0) (page consultée le 15 février 2012).
- DANIAULT, Nathalie, « Climat : passé, présent, futur », site de l'UE libre de l'Université de Bretagne Occidentale, 29 septembre 2008, [http://stockage.univ-brest.fr/~daniault/Contenu\\_de\\_l'UE\\_Climat.html](http://stockage.univ-brest.fr/~daniault/Contenu_de_l'UE_Climat.html) (page consultée le 20 février 2012).
- MULLER, Jean-Claude, « Photovoltaïque » in *Encyclopaedia Universalis*, vol. 18, Encyclopaedia Universalis, 2008, pp. 1103-1104
- LUQUE, Antonio et HEGEDUS, Steven, *Handbook of photovoltaic science and engineering*, England, Wiley, 2003, 1138 p.